

Ispitivanje reoloških svojstava tekućeg jogurta tijekom dugotrajnijeg čuvanja primjenom metode dinamičkog oscilacijskog testa

Milica Vilušić

Izvorni znanstveni rad-Original scientific paper

UDK:637.146.34

Sažetak

Namjera ovoga rada bila je ispitati reološka svojstva tekućeg jogurta tijekom dugotrajnijeg čuvanja na temperaturi 4 i 8°C. Preliminarno je određena optimalna količina dodataka za povećanje sadržaja suhe tvari mlijeka (punomasno mlijeko u prahu, sirutkin protein-laktalbumin) i provedena je fermentacija.

Tijekom 42 dana, odnosno 1., 7., 14., 21., 28., 35. i 42. dana čuvanja u hladnjaku na 4 i 8°C praćene su promjene pH vrijednosti, kiselosti i reološka svojstva tekućeg jogurta primjenom dinamičke oscilacijske metode.

Rezultati rada su pokazali da dodatak punomasnog mlijeka u prahu, odnosno proteina sirutke, utječu na reološka svojstva tekućeg jogurta. Dugotrajnije čuvanje tekućeg jogurta i rezultati dinamičkih oscilacija ukazuju na permanentno veće vrijednosti modula čuvanja (elastičnosti) G' , pa prevladavaju elastična svojstva viskoelastičnog proizvoda, u odnosu na modul gubitaka (viskoznosti) G'' . Povećanje vrijednosti modula elastičnosti i modula viskoznosti neprekidno se odvija, i kod vrijednosti pH 4,0 i niže, kao indikacija preuređenja dužih lanaca u strukturi gruš.

Različite temperature čuvanja nisu značajnije utjecale na promjene reoloških svojstava ispitivanih tipova tekućeg jogurta pa je odnos navedenih modula zadržao istu tendenciju porasta.

Ključne riječi: punomasno UHT mlijeko, punomasno mlijeko u prahu, laktalbumin, dugotrajnije čuvanje, modul čuvanja i modul gubitaka.

Uvod

Potrošnja fermentiranih mliječnih proizvoda ovisi o osnovnim funkcijama proizvoda kao hrane; a to su prirodnost i nutritivna vrijednost, što čini ovu grupu proizvoda zanimljivom za proučavanje tijekom ovih godina (Robinson, 1991.).

Kakvoća fermentiranih proizvoda ovisi u prvom redu o teksturi i reološkim svojstvima formiranog gruša, pa direktno utječe na senzorsku kakvoću proizvoda. O reološkim svojstvima ovisi hoće li potrošači prihvatiti proizvod, a ista su uvjetovana različitim fizikalnim, mikrobiološkim i tehnološkim čimbenicima. Najznačajniji su: struktura proteinskog kompleksa i udio pojedinih frakcija, udio mliječne masti, udio mineralnih tvari, uvjeti prethodnog termičkog tretmana, vrsta i aktivnost mikrobne starter kulture, uvjeti inokulacije i inkubacije i drugo.

Povećanje udjela suhe tvari u mlijeku poboljšava konzistenciju i aromu gotovog proizvoda, povećava titracijsku kiselost, reducira vrijeme koagulacije i poboljšava reološka i organoleptička svojstva proizvoda. Fizikalna svojstva nastalog koaguluma primarno su uvjetovana tipom, odnosno vrstom dodatog praha (obrano mlijeko u prahu, koncentrat proteina sirutke, natrij-kazeinata ili praha koncentriranog ultrafiltracijom) (Rohm i Schmid, 1993.; Thomopoulos i sur., 1993.; Guinee i sur., 1995.; Lankes i sur., 1998.; Cho i sur., 1999.; O' Kennedy i Kelly, 2000.; Schkoda i sur., 2001.). Nadalje, Morris i sur. (1995.) navode, da nema značajnih razlika u čvrstoći jogurta s dodatkom obranog mlijeka u prahu, odnosno proteina sirutke. Postizanjem željene teksture i organoleptičkih svojstava jogurta, uz primjenu selektiranih mikrobnih starter kultura, fermentirani mliječni proizvodi blago kiselog okusa mogu se relativno dobro kontrolirati u današnjim uvjetima proizvodnje. (Möller, 2000.).

Zbog karakteristične trodimenzionalne mrežaste strukture kazeina s dispergiranim masnim globulama i otopljenim sastojcima u sirutki jogurt je, od svih fermentiranih mliječnih proizvoda, s reološkog gledišta najviše obrađivani proizvod. Bez obzira o kojem tipu jogurta je riječ, odnos konzistencije, teksture, čvrstoće, svojstva tečenja i kakvoće jogurta u uskoj su vezi. Za optimiranje teksture i čuvanje jogurta, osobito su važni svi čimbenici procesa proizvodnje. (Benezech i Maingonnat, 1994.).

Prema reološkoj nomenklaturi, tekući jogurt predstavlja strukturnoviskoznu, parcijalno tiksotropnu nenjutnovsku viskoelastičnu tekućinu čija granica tečenja i ponašanje tečenja ovisi o vremenu (Rohm, 1992.).

Određivanje viskoelastičnih svojstava jogurta najčešće se vrši primjenom oscilacijskih opterećenja u frekventno-oscilatornim probama. Materijal je podvrgnut određenom periodički-oscilacijskom opterećenju niskih

amplituda koje ne narušavaju stanje mirovanja osjetljivog proizvoda. Takav je materijal obilježen sinusoidnim titranjem preko frekvencije i amplitude, a prevladava elastično ponašanje deformacije u odnosu na viskozno pa materijal pokazuje karakter gruš. Ispitivanje strukture pri kontroliranom naponu ukazuje na dva osnovna parametra sa elastičnim G' i viskoznim svojstvima G'' (Lankes i sur., 1998.). Oscilacijske probe smicanja i dinamički modeli služe za praćenje nastajanja koaguluma i opisivanje svojstava već postojeće strukture (Rönnegård i Dejmek, 1993.; Vlahopoulou i Bell, 1993.; Rohm i Kovač, 1994.), omogućavaju jednostavno podešavanje procesnih parametara i praćenje reoloških svojstava proizvoda (Rönnegård i sur., 1993.; Dickinson, 1997.; Bourriot i sur., 1997.; Costello, 1997.).

Svrha ovog rada bila je ispitati utjecaj nekih dodataka mlijeku (punomasno mlijeko u prahu i protein sirutke u prahu - laktalbumin) radi povećanja udjela suhe tvari mlijeka, odnosno udjela ukupnih proteina i njihov utjecaj na reološka svojstva i kakvoću tekućeg jogurta tijekom dugotrajnijeg čuvanja, odnosno utjecaj na trajnost proizvoda.

Materijal i metode rada

Za izradu tekućeg jogurta korišteno je UHT mlijeko s 3,9% mliječne masti („Toni“ – Swiss Dairy Food AG).

Kao jogurtna starter kultura korišteno je 180 g-sko pakiranje prirodnog jogurta s 3,5% mliječne masti i pH vrijednosti 3,95-3,92 („Toni“ – Swiss Dairy Food AG).

Za povećanje sadržaja suhe tvari korišteni su:

- punomasno mlijeko u prahu s 26% mliječne masti i 26% proteina (Vollmilchpulver Sprüh 26% – „Emmi“ Schweiz AG – Dagmarsellen)
- protein sirutke u prahu s 83% proteina (laktalbumina) i 4% masti (Emmi Protein Lactalb 90 – „Emmi“ Schweiz AG – Dagmarsellen).

Za izradu tekućeg jogurta uzeto je UHT mlijeko (UHT), s dodatkom 2% punomasnog mlijeka u prahu (PMP) i dodatkom proteina sirutke (PS) s istim odnosom proteina koliko je iznosio u 2% punomasnog mlijeka u prahu. Dodatak suhe tvari u mlijeko određen je na osnovu preliminarnih analiza. Miješanje je vršeno ručno pomoću pjenjača, te zagrijavano na 95°C 5 minuta zbog homogenizacije i bolje denaturacije proteina sirutke i njihova uklapanja u strukturu gruš. Zatim je hlađeno na temperaturu fermentacije (42°C). Sve

serije uzoraka mlijeka za proizvodnju tekućeg jogurta nacijepljene su s 3% inokuluma industrijski proizvedenog jogurta, te inkubirani u sterilnim staklenim čašicama.

Tijekom inkubacije uzoraka UHT mlijeka (211 minuta) i mlijeka s dodatcima (PMP, 217 minuta i PS, 210 minuta) za proizvodnju tekućeg jogurta praćena je brzina fermentacije mjerenjem pH vrijednosti i određivanjem titracijske kiselosti (na početku i svaki naredni sat) do pH vrijednosti oko 4,40.

Proizvedeni uzorci tekućeg jogurta hlađeni su u vrlo hladnoj vodi i nakon hlađenja do 25°C pažljivo su miješani ručnim pjenjačem, punjeni u staklene čašice i dalje hlađeni u vrlo hladnoj vodi.

Svi uzorci tekućeg jogurta čuvani su 42 dana na temperaturi 4 i 8°.

Tijekom čuvanja, odnosno 1., 7., 14., 21., 28., 35. i 42. dan uzimana je po jedna čašica tekućeg jogurta i temperirana na sobnu temperaturu. Svim ispitivanim uzorcima mjerena je pH vrijednost, titracijska kiselost i reološki parametri.

Pored toga izvršene su analize osnovnih sastojaka i pH vrijednosti korištenih sirovina za proizvodnju tekućeg jogurta prema poznatim metodama (Gerber, 1979.).

Prema sustavu bodovanja, pet senzorskih analitičara ocijenilo je senzorska svojstva na bazi faktora vaganja (ISO, 1985.) s ukupno 20 bodova. Rezultati senzorske analize su prikazani kao srednja vrijednost ispitivanih uzoraka.

Reološka mjerenja

Za mjerenje reoloških parametara uzoraka tekućeg jogurta i tekućeg jogurta s dodatkom punomasnog mlijeka u prahu, odnosno proteina sirutke, korišten je Rheometrics® DSR s koncentričnim cilindrom (Dynamic Stress Rheometer s tipom geometrije couette C 32/29,5/44,3mm) na temperaturi 20°C (kontrolirane pomoću vodene kupelji - Julabo FS18), tijekom dugotrajnijeg čuvanja, odnosno 1, 7, 14, 21, 28, 35 i 42 dana. Korišten je simetrični rotacijski "Searle" mjerni sustav kod kojega mjerno tijelo rotira, a mjerna posuda je fiksirana. Prije svakog dodatka uzorka u mjernu posudu prilikom mjerenja morala se kalibrirati nultočka mjernog tijela. U svim uzorcima tekućeg jogurta vršena je oscilacijska proba koja obuhvaća Dynamic Stress Sweep Test (frekvencija konstantna – 10 Hz, napon smicanja

promjenjiv – veći od 0,1 i manji od 100 Pa) i Dynamic Frequency Sweep Test (napon smicanja konstantan – vrijednost preuzimana iz linearnog viskoelastičnog područja prethodnog testa, frekvencija promjenjiva – veća od 0,1 i manja od 100 Hz). Sve vrijednosti reoloških parametara izražene su u logaritamskom obliku.

Rezultati rada i rasprava

Osnovna svojstva UHT mlijeka, dodatka za povećanje sadržaja suhe tvari i ispitivanih uzoraka za proizvodnju tekućeg jogurta prikazana su u tablici 1.

Tablica 1: Kemijski sastav i pH vrijednost UHT mlijeka, punomasnog mlijeka u prahu (PMP) i proteina sirutke (PS) za proizvodnju tekućeg jogurta

Table 1: Chemical composition and pH value of UHT milk, whole milk powder and whey protein for stirred yoghurt production

Sastav Composition	UHT	26% PMP	UHT+2% PMP	83% PS	UHT+PS*
Suha tvar Dry matter (%)	12,81	92,56	14,61	94,33	13,37
Proteini Proteins (%)	3,14	25,58	3,66	82,51	3,99
Mliječna mast Milk fat (%)	3,72	24,73	/	3,65	/
Laktoza Lactose (%)	4,69	36,79	/	2,89	/
Pepeo Ash (%)	0,65	5,64	0,82	5,28	0,74
pH vrijednost pH value	6,67	6,60 ¹⁾	6,64	6,80 ²⁾	6,66

Prema deklaraciji: 1) 10 g PMP otopljeno u 100 ml deionizirane vode,

2) 5 g PS otopljeno u 100 ml deionizirane vode

Tablica 2: Promjena pH vrijednosti i kiselosti uzoraka tekućeg jogurta, s dodatkom punomasnog mlijeka u prahu (PMP), odnosno proteina sirutke (PS), tijekom dugotrajnijeg čuvanja na temperaturi 4 i 8°C

Table 2: Changes of pH value and acidity of stirred yoghurt samples, with whole milk powder and whey protein addition during long-term storage at 4 and 8°C

Uzorak Sample	4°C						8°C					
	UHT		PMP		PS		UHT		PMP		PS	
	pH	Ac	pH	Ac	pH	Ac	pH	Ac	pH	Ac	pH	Ac
Vrijeme (dani) Time (days)												
1	4,23	41,50	4,25	41,50	4,23	42,50	4,15	44,50	4,20	43,00	4,19	43,00
7	4,06	48,00	4,13	46,50	4,18	45,00	3,90	53,00	4,13	46,50	4,13	46,50
14	4,04	48,50	4,10	47,00	4,08	48,50	3,86	56,00	3,95	51,00	3,93	56,00
21	4,03	49,50	4,07	48,00	3,99	49,50	3,85	58,00	3,92	52,50	3,80	59,00
28	3,99	50,00	4,05	48,50	3,99	50,00	3,80	60,00	3,90	56,00	3,78	62,50
35	3,98	51,00	4,04	51,00	3,98	51,00	3,79	60,00	3,84	59,00	3,78	62,50
42	3,98	51,00	4,04	53,00	3,98	51,00	3,79	60,00	3,83	60,00	3,77	63,00

Ac - Kiselost / Acidity (°SH)

Tijekom dugotrajnijeg čuvanja veći pad pH vrijednosti imali su uzorci tekućeg jogurta bez dodataka i s dodatkom proteina sirutke. Također, najveći stupanj kiselosti nakon 42 dana čuvanja karakterističan je za jogurt s dodatkom proteina sirutke uslijed većeg udjela ukupnih proteina i fosfata koji utječu na povećanje puferskog kapaciteta (tablica 2).

Senzorska analiza ispitivanih uzoraka tekućeg jogurta (prikazana u tablici 3) pokazuje da su prosječne vrijednosti senzorske ocjene svih ispitivanih uzoraka relativno visoke, osim u slučaju UHT i PS uzoraka tekućeg jogurta uslijed izdvajanja sirutke s nešto izraženijom kiselosti koja je utjecala na okus tih proizvoda.

Tablica 3: Srednja vrijednost senzorske procjene uzoraka tekućeg jogurta, s dodatkom punomasnog mlijeka u prahu (PMP), odnosno proteina sirutke (PS), tijekom dugotrajnijeg čuvanja na temperaturi 4 i 8°C

Table 3: Average value of sensory evaluation of stirred yoghurt samples, with whole milk powder and whey protein addition during long-term storage at 4 and 8°C

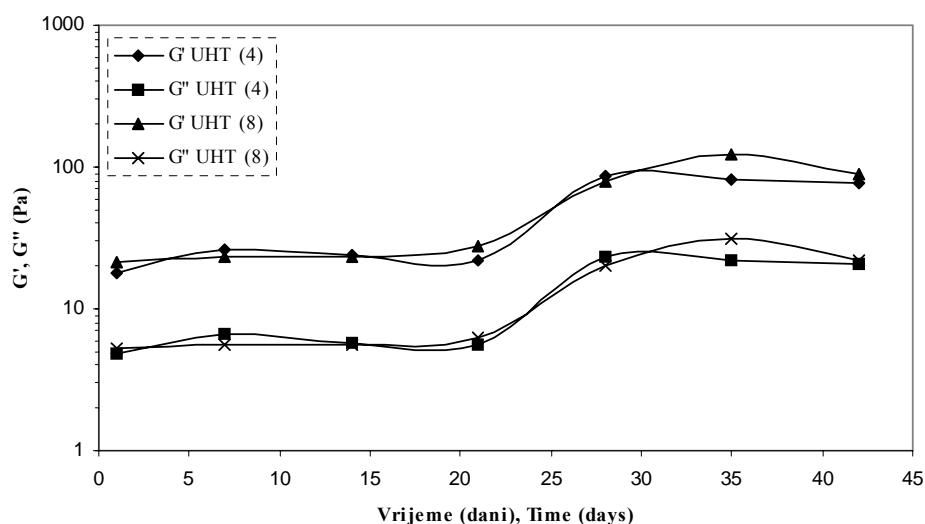
Temperatura Temperature	4°C			8°C		
Uzorak Sample	UHT	PMP	PS	UHT	PMP	PS
Opći izgled General appearance (1)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Boja Colour (1)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Miris Odour (2)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Konzistencija Consistency (4)	4,0	4,0	4,0	3,8	4,0	3,7
Okus Flavour (12)	11,0	12,0	11,0	10,0	11,0	9,0
Ukupno Total (20)	19,0	20,0	19,0	17,8	19,0	16,7

Nastanak gruša je osnova svakog fermentiranog mliječnog proizvoda, koji prema Kudryashov i sur. (2001.), prati prvo povećanje energije gubitaka uslijed agregiranja kazeinskih čestica u nakupine i daljnjeg međusobnog povećanja oba modula, jer je gruš već formiran.

Dinamički oscilacijski test pokazuje znatne razlike od serije do serije uzoraka tekućeg jogurta, što se podudara s tvrdnjom Vlahopoulou i Bell (1993.).

Vrijednost modula čuvanja G' , elastični dio reološko-deformacijskog ponašanja, raste s periodom čuvanja što prikazuje slika 1. Usporedo raste i vrijednost modula gubitaka G'' koji opisuje viskozna svojstva tekućeg jogurta od UHT mlijeka. Ali vrijednosti G'' ostaju uvijek nešto niže od G' , što znači da prevladava karakter krutog (elastičnog) dijela uzoraka tekućeg jogurta, u odnosu na karakter tekućine, pa je formirani gruš manje više ukočeni (kruti) matriks, što se podudara s tvrdnjom Mezger (1994.). Sumiranje realne komponente G' i imaginarne komponente G'' daje modul smicanja G^* koji

predstavlja čvrstoću gruša. Može se zaključiti, da relacija povećanja vrijednosti pojedinih modula znači i čvršću strukturu gruša.



Slika 1: Promjene vrijednosti modula G' i G'' pri frekvenciji 1 Hz tekućeg jogurta tijekom dugotrajnijeg čuvanja na temperaturi 4 i 8°C

Figure 1: Changes of G' and G'' modulus at 1 Hz of stirred yoghurt during storage at 4 and 8°C

Povećanje energetske vrijednosti G' i G'' uvjetovano je neznatnim izdvajanjem sirutke. To je predstavljeno prijelazom energije iz područja 1 do 10 Pa na vrijednosti 10 do 100 Pa logaritamske podjele. Do sličnih rezultata došao je i Mezger (1994.). Dugotrajnijim čuvanjem nije se značajno mijenjao odnos G' i G'' , već se zadržao konstantnim ($G'/G'' \approx 4,0$). Tijekom 6 tjedana čuvanja svi uzorci tekućeg jogurta od UHT mlijeka imali su istu tendenciju porasta kompleksnog modula G^* .

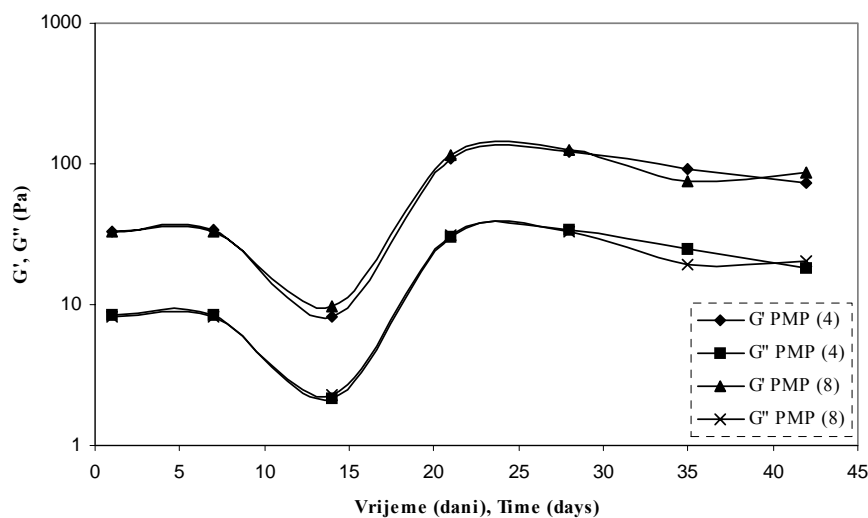
Uzorci ovog tipa jogurta zadržali su svojstva elastičnosti s omjerom viskoznih i elastičnih karakteristika između 0 i 1 ($\tan \delta = G''/G'$) i linearno povećanje navedenih modula s porastom frekvencije (Steventon, 1990.; van Vliet i Keetels, 1995.; Lucey i sur., 1998.).

Neznatna variranja vrijednosti modula čuvanja G' i modula gubitaka G'' , u komparaciji s različitim temperaturama čuvanja, nisu imala značajnog

utjecaja na senzorska, odnosno reološka svojstva tekućeg jogurta od UHT mlijeka.

Reološki parametri uzoraka tekućeg jogurta s dodatkom punomasnog mlijeka u prahu prikazani su na slici 2, a karakteriziraju ih stabilne vrijednosti G' i G'' u periodu prvih 7 dana čuvanja na temperaturama 4 i 8°C, nakon čega dolazi do izjavnog sniženja modula čuvanja i modula gubitaka. Uzrok ovoga sniženja vrijednosti energije čuvanja i energije gubitaka može se povezati s niskom vrijednosti konstantnog napona smicanja iz linearnog područja, prethodno dobivenog dinamičkim testom smicanja. Odnos modula čuvanja i modula gubitaka tijekom čuvanja ostao je relativno konstantan ($G'/G'' \approx 3,9$).

Sniženje vrijednosti modula elastičnosti i viskoznosti moglo bi se pripisati pojačanom razvoju mliječne kiseline, jer daljnji pad pH vrijednosti inducira ionske promjene u mrežastoj strukturi proteina narušavajući interakcije protein-protein.



Slika 2: Promjena vrijednosti modula G' i G'' pri frekvenciji 1 Hz tekućeg jogurta s dodatkom punomasnog mlijeka (PMP) tijekom dugotrajnijeg čuvanja na temperaturi 4 i 8°C

Figure 2: Changes of G' and G'' modulus at 1 Hz of stirred yoghurt with whole milk powder addition during storage at 4 and 8°C

Narušavanje strukture pospješuje sinerezu i doprinosi daljnjoj degradaciji strukture. Pojava sinereze, dužim čuvanjem, može se objasniti činjenicom pada vrijednosti modula elastičnosti G' (Afonso i Maia, 1999.). Nadalje, i proteoliza može doprinijeti daljnjim strukturnim degradacijama.

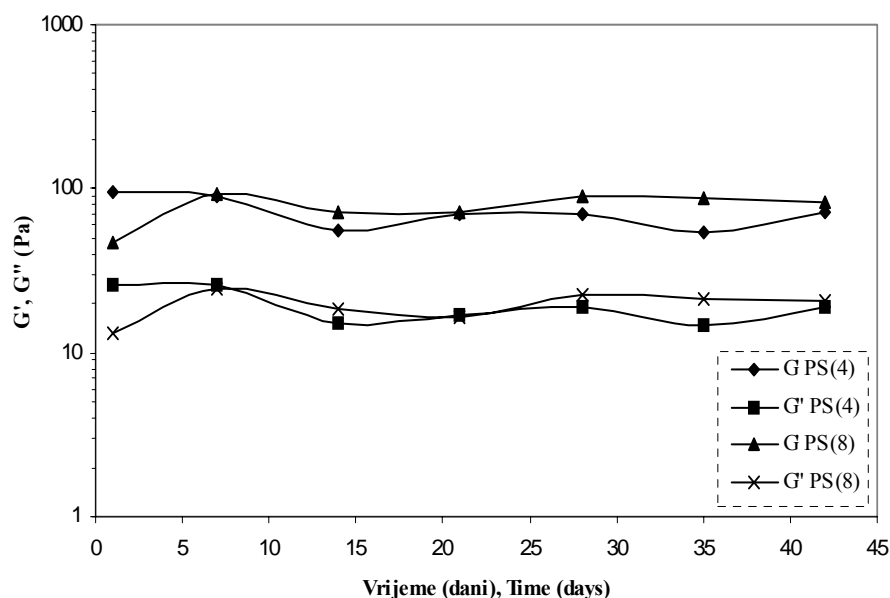
U periodu 14 i 21 dana čuvanja energija se povećava do iznad 100 Pa, modul elastičnosti G' neprekidno se s vremenom povećava čak i kada pH vrijednost dostigne 4,0. Taj pronalazak indicira na neka preuređenja dužih lanaca u strukturi grušā ispod pH vrijednosti 4.2 (Kudryashov i sur., 2001.).

Do kraja perioda čuvanja zadržava se tendencija pada vrijednosti modula G' do oko 86 Pa. Odnos vrijednosti modula elastičnosti, koji je nastao kao reakcija preuređenja strukture grušā na djelovanje kontroliranog napona smicanja u periodu oscilacije, i modula viskoznosti, koji bilježi gubitak energije tijekom ciklusa deformacije, neznatno se mijenjaju u uzorcima čuvanim na temperaturi 4 i 8°C u vremenu od 2 do 6 tjedna. Svi uzorci tekućeg jogurta s dodatkom punomasnog mlijeka u prahu imaju $G' > G''$, pa se može reći, da jogurt ima značajno veći elastični karakter (Dickinson, 1997.). Ovisnost reoloških svojstva grušā o dužini vremena povezana je s primijenjenom deformacijom (Lucey i sur., 1997.). Vrijednosti modula čuvanja G' , uzoraka tekućeg jogurta čuvanih na 8°C (kako je prikazano), lagano su porasle, ali nisu utjecale na negativne karakteristike reoloških parametara uzoraka tekućeg jogurta. Također, vrijedi odnos viskoznih i elastičnih komponenti uzoraka manji od 1, što se podudara s iskazom Lankes i sur. (1998.), kao i činjenica da $\tan \delta$ pokazuje prirodu uzajamne energije u grušu.

Na nižim temperaturama čuvanja može doći do pojave većih vrijednosti G'' u odnosu na G' (Mezger, 1994.), ali to nije bio slučaj ni u jednom ispitivanom tipu tekućeg jogurta.

Rezultati frekvencijskog testa uzoraka jogurta s dodatkom proteina sirutke čuvanih na 4 i 8°C tijekom 42 dana dati su na slici 3, gdje se oba modula povećavaju proporcionalno s povećanjem frekvencije po zakonu potencije. To je tipično za koloidne gruševe (Costello, 1997.).

Suprotno modulu čuvanja G' , gdje energija stoji uzorku na raspolaganju i služi kao pomoć pri povratnoj reakciji, modul gubitaka G'' je mjera korištene i izgubljene energije koju uzorak treba tijekom procesa smicanja. To znači, da je energija upotrijebljena za registriranje promjena strukture uzoraka nestala u



Slika 3: Promjena vrijednosti modula G' i G'' pri frekvenciji 1 Hz tekućeg jogurta s dodatkom proteina sirutke (PS) tijekom dugotrajnijeg čuvanja na temperaturi 4 i 8°C

Figure 3: Changes of G' and G'' modulus at 1 Hz of stirred yoghurt with whey proteine addition during storage at 4 and 8°C

okolini (npr. u obliku topline), i u periodu čuvanja bila je uvijek nešto niža. Ovisnost vrijednosti modula čuvanja G' i modula gubitaka G'' o primijenjenoj frekvenciji zadržava relativno linearan odnos tijekom cjelokupnog perioda čuvanja, što se ne bi moglo pripisati dodatku proteina sirutke i količini denaturiranih proteina jer su albumini već denaturirani. Veći udio ukupnih proteina uvjetovao je i veće vrijednosti modula elastičnosti G' i modula viskoznosti G'' , uspoređeno s ostalim uzorcima jogurta. To ponašanje se slaže s rezultatima viskoelastičnih gruševa (Benezech i Maingonnat, 1994.; Ozer i sur., 1998.). Odnos vrijednosti modula G' i G'' ostao je konstantan u periodu skladištenja i iznosio je približno 3,67. Prethodno je utvrđeno, da više agregirane proteinske strukture pokazuju veću ovisnost o frekvenciji nego finije strukture gruša (Walkenström i Hermansson, 1997.).

Povećanje vrijednosti modula gubitaka frekvencijom može indicirati na popuštanje proteinskih veza tijekom mjerenja. U ovom radu to nije bio slučaj jer je modul čuvanja uvijek dominirao u odnosu na modul gubitaka.

Prema Allmere i sur. (1999.) nađene vrijednosti G' oscilacijskih mjerenja značajno su promijenjene udjelom ukupnih proteina mliječnih uzoraka. Za razliku od vrijednosti G'' , ni ukupni proteini, ni udio kazeina nemaju značajan uzajamni odnos s modulom gubitaka. Činjenica je, da veći udio ukupnih proteina kreira mrežu veće gustoće strukture matriksa koja onda rezultira većim elasticitetom bez utjecaja na viskozni modul.

Zaključci

Dugotrajnije skladištenje tekućeg jogurta i rezultati dinamičkih oscilacija ukazuju na permanentno veće vrijednosti modula čuvanja G' u odnosu na modul gubitaka G'' , što znači da je pohranjena energija deformacije veća i stoji materijalu na raspolaganju pri povratnoj reakciji. Ta činjenica ukazuje na tipično ponašanje gruša, jer prevladavaju elastična svojstva viskoelastičnog proizvoda. Povećanje vrijednosti modula elastičnosti i modula viskoznosti neprekidno se odvija, i kod vrijednosti pH 4,0 i niže, kao indikacija preuređenja dužih lanaca u strukturi gruša.

Različite temperature čuvanja i skladištenja nisu bitnije utjecale na promjene reoloških svojstava ispitivanih tipova tekućeg jogurta. Odnos modula G' i G'' zadržao je istu tendenciju porasta.

Sumarno gledano, uzorci tekućeg jogurta bez dodataka i s dodatkom proteina sirutke (laktalbumina) imali su vrlo slične karakteristike reoloških parametara, dok su izvjesna variranja uzoraka jogurta s dodatkom punomasnog mlijeka posljedica nešto niže vrijednosti konstantnog napona smicanja iz linearnog područja prethodno dobivenog dinamičkog testa smicanja.

EXAMINATION OF THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF STIRRED JOGHURT DURING THE LONG-TERM STORAGE BY USING DYNAMIC OSCILLATION METHOD

Summary

In this work the rheological properties of stirred yoghurt during the long-term storage at 4 and 8°C were investigated. The optimal quantity of additives, in order to increase dry matter content (whole milk powder and whey protein-lactalbumin), was preliminary determined and the fermentation was performed.

During 42 days, i.e., 1st, 7th, 14th, 21st, 28th, 35th and 42nd day of storage of stirred yoghurt, in refrigerator at 4 and 8°C, the changes of pH value, acidity and rheological properties by using of dynamic oscillation method were observed.

Results of this work indicated that an addition of whole milk powder and whey protein have an influence on rheological properties of stirred yoghurt. The long-term storage of stirred yoghurt and the results of dynamic oscillations showed permanently higher G' storage (elasticity) modulus, where elastic properties of viscoelastic products dominate, in comparison with the G'' loss (viscosity) modulus. Increased modulus of elasticity and viscosity, as function of time, permanently occurs at pH value 4.00 and lower, as an indication of alteration of long casein chains in the coagulum structure.

Different temperatures of storage had no influence on changes of rheological properties of examined types of stirred yoghurt. The relation of above mentioned modulus of elasticity and viscosity kept the same increasing tendency.

Key words: whole UHT milk, whole milk powder, lactalbumin, long-term storage, storage loss modulus

Literatura

- AFONSO, I.M., MAIA, J.M. (1999.) Rheological Monitoring of Structure Evolution and Development of Stirred Yoghurt, *Journal of Food Engineering* 42 : 183-190.
- ALLMERE, T., ÅKERLIND, M., ANDRÉN, A. (1999.) Rheological properties of acidified gels of skim milk from cows selected for high or low fat concentration, *International Dairy Journal* 9 : 703-707.
- BENEZECH, T., MAINGONNAT, J.F. (1994.) *Characterisation of Rheological Properties of Yoghurt – A Review*, *Journal of Food Engineering* 21 : 447-472.
- BOURRIOT, S., DOUBLIER, J.-L., GARNIER, C., LEFEBVRE, J. (1997.) Rheology and Structure of Phase Separating Micellar Casein-Polysaccharide Mixtures, u *Food Rheology and Structure I*, ur. E. Windhab, Proceedings of the 1st International Symposium on Food Rheology and Structure 16-21 March 1997, Zürich, str. 128-132.
- COSTELLO, B.A. (1997.) *Relationship between the Rheology and Structure of Set Yoghurts*, u *Food Rheology and Structure I*, ur. E. Windhab, Proceedings of the 1st International Symposium on Food Rheology and Structure 16-21 March 1997, Zürich, str. 141-145.
- DICKINSON, E. (1997.) *Protein-Stabilized Emulsion Gels: Rheology, Interactions and Structure*, u *Food Rheology and Structure I*, ur. E. Windhab, Proceedings of the 1st International Symposium on Food Rheology and Structure 16-21 March 1997, Zürich, str. 50-57.
- GERBER, N. (1979.) *Die Praktische Milchprüfung und die Kontrolle von Molkereiprodukten*, Verlag K. J. Wyss Erben AG, Bern.
- GUINNE, T.P., MULLINS, C.G., REVILLE, W.J., COTTER, M.P. (1995.) Physical properties of stirred-curd unsweetened yoghurts stabilised with different dairy ingredients, *Milchwissenschaft* 50 : 196-200.
- CHO, Y.H., LUCEY, J.A., SINGH, H. (1999.) Rheological properties of acid milk gels as affected by the nature of the fat globule surface material and heat treatment of milk, *International Dairy Journal* 9 : 537-545.
- ISO (TC34) SC 12 (Secretariat – 139) E „Sensory analysis“ DC., 185-02-05.
- KUDRYASHOV, E.D., HUNT, N.T., ARIKAINEN, E.O., BUCKIN, V.A. (2001.) Monitoring of Acidified Milk Gel Formation by Ultrasonic Shear Wave Measurements. High-Frequency Viscoelastic Moduli of Milk and Acidified Milk Gel, *Journal of Dairy Science* 84 : 375-388.
- LANKES, H., OZER, H.B., ROBINSON, R.K. (1998.) The effect of elevated milk solids and incubation temperature on the physical properties of natural yoghurt, *Milchwissenschaft* 53 : 510-513.
- LUCEY, J.A., MUNRO, P.A., SINGH, H. (1998.) Rheological properties and Microstructure of Acid milk gels as affected by fat content and heat treatment, *Journal of Food Science* 63 : 660-664.
- LUCEY, J.A., TET TEO, C., MUNRO, P.A., SING, H. (1997.) Rheological properties at small (dynamic) and large (yield) deformations of acid gels made from heated milk, *Journal of Dairy Research* 64 : 591-600.

- MEZGER, T. (1994.) *Lebensmittelrheologie – Messergebnisse und Auswertung*, Bericht über die 4. Tagung für Lebensmittelrheologie 7-9. September 1993, Granum Verlag, Detmold.
- MÖLLER, C. (2000.) *Starterkulturen für milden Joghurt*, Deutsche Milchwirtschaft 19 : 818-819.
- MORRIS, H.A., GHALEB, H.M., SMITH, D.E., BASTIAN, E.D. (1995.) *A comparison of yoghurts fortified with nonfat dry milk and whey protein concentrates*, Cultured Dairy Products Journal 30 : 2-4, 31.
- O'KENNEDY, B.T., KELLY, P.M. (2000.) Evaluation of milk protein interactions during acid gelation using a simulated yoghurt model, *Milchwissenschaft* 55 : 187-190.
- OZER, B.H., BELL, A.E., GRANDISON, A.S., ROBINSON, R.K. (1998.) *Rheological Properties of concentrated yoghurt (labneh)*, Journal of Texture Studies 29 : 67-79.
- ROBINSON, R. K. (1991.) *Therapeutic Properties of Fermented Milks*, Elsevier Applied Science Publishers, London.
- ROHM, H. (1992.) *Viscosity Determination of Stirred Yoghurt*, Lebensmittel - Wissenschaft & Technologie 25 : 297-301.
- ROHM, H., SCHMID W. (1993.) Influence of dry matter fortification on flow properties of yogurt. 1. Evaluation of flow curves, *Milchwissenschaft* 48 : 556-560.
- ROHM, H., KOVAČ, A. (1994.) Effects of starter cultures on linear viskoelastic and physical properties of yoghurt gels, *Journal of Texture Studies* 25 : 311-329.
- RÖNNEGARD, E., DEJMEK, P. (1993.) Development and breakdown of structure in yoghurt studied by oscillatory reological measurements, *Lait* 73 : 371-379.
- RÖNNEGARD, E., JIANG, J., DEJMEK, P. (1993.) Rheology of set type and stirred type yoghurt: build-up, break-down and recovery; The effects of pH, temperature and starter, u developments in food engineering, ur. T. Yano, R. Matsuno, K. Nakamura, *Proceedings of the 6th International Congress on Engineering and Food*, str. 90-92.
- SCHKODA, P., HECHLER, A., HINRICHS, J. (2001.) Influence of the protein content on structural characteristics of stirred fermented milk, *Milchwissenschaft* 56 : 19-22.
- STEVENTON, A.J., PARKINSON, C.J., FRYER, P.J., BOTTOMLEY, R.C. (1990.) *The rheology of yogurt*, u *Rheology of food, pharmaceutical and biological materials with general rheology*, ur. R.E. Carter, Elsevier Applied Science, London, str. 196-210.
- THOMOPOULOS, C., TZIA, C., MILKAS, D. (1993.) Influence of processing of solids-fortified milk on coagulation time and quality properties of yoghurt, *Milchwissenschaft* 48 : 426-430.
- VLAHOPOULOU, I., BELL, A.E. (1993.) Effect of various starter cultures on the viskoelastic properties of bovine and caprine yogurt gels, *Journal of the Society of Dairy Technology* 46 : 61-63.
- VLIET, VAN, T., KEETELS, C.J.A.M. (1995.) *Effect of Preheating of Milk on the Structure of Acidified Milk Gels*, Netherlands Milk and Dairy Journal 49 : 27-35.

WALKENSTRÖM, P., HERMANSSON, A.-M. (1997.) *Effects of Processing on Phase Distribution of Mixed gels*, u Food Rheology and Structure I, ur. E. Windhab, Proceedings of the 1st International Symposium on Food Rheology and Structure 16-21 March 1997, Zürich, str.198-202.

Adresa autora – Author's address:

Mr. sc. Milica Vilišić
Tehnološki fakultet, Tuzla,
Bosna i Hercegovina

Prispjelo – Recieved: 15. 06. 2003.

Prihvaćeno – Accepted: 06. 11. 2003.